

# 纏波に於ける太陽雑音

## —受信方式について—

田中春雄、村瀬素也、神藤英彦

### 1 緒 言

地磁気嵐及びデリンジャー現象は商用短波通信に対する重大な妨害源であり、且此の両者は太陽面上の爆発現象と密接に関係してゐる。併し太陽面を光学的に観測する方法は晴雨に支配されて信頼性が薄く、戦后海外に於て太陽から放射される電波によつて之を観測する方法が始められた。我國に於ても東京天文台に於て 200M C 帯の太陽雑音の観測を続けつゝある外、電波廳、大阪市立大学等でも色々な計画がある模様である。併し太陽雑音は各波長帯に亘つて顯著にその性質を異にするから、之を究明する爲には廣範圍な観測が必要である。

当研究所に於ては、纏波 (8cm) に於ける太陽雑音の受信を計画し、先づ昭和24年度の卒業研究の題目として之が準備に着手した。その結果文献調査及びそれに基く受信方式の検討を略々完了し、目下受信機各部の設計製作に努力しつゝあり、今年度末頃一應完成の予定である。

### 2 太陽雑音の強度 <sup>(1)-(3), (10)</sup>

第1図に示す様に、アンテナから見て  $\Delta\omega$  と云ふ微小立体角内に太陽がある場合を考へる、無指向性アンテナで受信した場合の有能電力 (available power)  $P_a$  を次式で表はせば

$$P_a = \overline{EN} k T_0 B \quad (1)$$

$$k = \text{Bolzman 恒数} = 1.37 \times 10^{-23} \text{ joule/}^\circ\text{K}$$

$$T_0 = 300 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$B = \text{帯域巾 (cycle/sec)}$$

無指向性アンテナを基準とした利得  $G$  (半波長ダブルツェットアンテナを基準とした利得の 1.64倍) のアンテナで受信した場合の有能電力  $P_a'$  は (2) 式で與へられる。

$$\left. \begin{aligned} P_a' &= \overline{EN'} k T_0 B = G \overline{EN} k T_0 B \\ \overline{EN'} &= G \overline{EN} \end{aligned} \right\} (2)$$

$\overline{EN}$ ,  $\overline{EN'}$  は一般に夫々外來雑音指数 (external noise figure) 等價外來雑音指数 (effective external noise figure) と呼ばれるものである。

$$\text{次に } P_a' = k T_a B \quad (3)$$

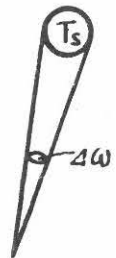
で表はした場合に、 $T_a$  をアンテナの等價温度と呼び、(4) 式により表はすことが出来る。

$$T_a = G T_s \frac{\Delta\omega}{4\pi} \simeq 5.4 \times 10^{-6} G T_s \quad (4)$$

$$T_s = \text{太陽温度 (}^\circ\text{K)}$$

$$\Delta\omega \simeq 6.8 \times 10^{-5} \text{ steradian}$$

第1図



又受信点に於ける単位帯域中当りの poynting power を  $P_D$  とすれば、

$$P_a = \frac{\lambda^2}{4\pi} P_D B \quad (\text{watt}) \quad (5)$$

$\lambda$  = 波長 (m)

$P_D$  = poynting power (watt/m<sup>2</sup> e/s)

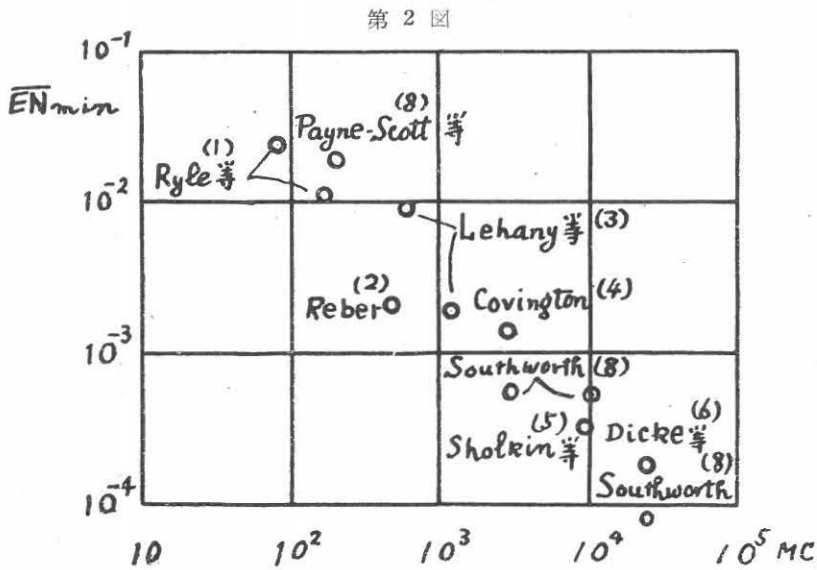
(5) 式及び (1) 式より

$$\overline{EN} = \frac{\lambda^2 P_D}{4\pi k T_0} \approx 1.92 \times 10^{19} \lambda^2 P_D \quad (6)$$

実際の受信機入力を表はすには  $\overline{EN}$  或は  $T_a$  が便利であり、雑音電波の強度を表現するには、アンテナに無関係な  $\overline{EN}$  が最も適してゐる。他の諸量で表はされたものとの間の換算式をまとめると次の様になる。

$$\begin{aligned} \overline{EN} &= \frac{\overline{EN}'}{G} = \frac{T_a}{300G} = 1.8 \times 10^{-8} T_s \\ &= 1.92 \times 10^{15} \lambda^2 (\text{cm}) P_D (\text{watt/m}^2 \text{ e/s}) \end{aligned} \quad (7)$$

現在に於ける各観測者の得た結果の中、最低雑音レベル (quiet sun) と覚しきものを (7) 式により整理すると第 2 図の様になる。



註 1. Ryle 等のものは、2点共  $1.8 \times 10^{-2}$  附近としてゐるものを、其後の報告<sup>(7)</sup>で両点の強度の比が約 1:2 であることを云つてゐる所から此の様に分けた。

註 2. Sholkin 等のものは、10尺のパラボラを用ひてゐる所から Gain を理論値の 60% 即ち  $2.2 \times 10^1$  として plot した。

### 3 種波帯に於ける太陽雑音受信の特色

各波長帯に於て太陽雑音の性質が顯著に異なることは前にも述べたが、種波帯に於て太陽雑音を受信する場合の特色として次の様な点が挙げられる。

a). 波長が短い程光学的観測結果との対応性がよいとされてゐる。

- h). 波長が短い程人工雑音等の妨害を受けることが少く、又指向性を鋭くすることが出来るから、観測結果の信頼性が高い。
- e). 第2図より明かなる如く、信号雑音が弱く、更に受信機の雑音指数が大きい爲受信が困難である。
- d). 極波帯に於ける標準雑音として使用しうる可能性がある。
- e). 極波帯に於ける観測結果は少く、特に我國では殆んど未開拓である。

#### 4 受信機出力に於ける信号対雑音比

在來の受信機に於てアンテナを天空に向けたときと太陽に向けたときとの雑音出力を第3図の如く表せば

第3図

$$\frac{S}{N} = \frac{\Delta \overline{EN'}}{\overline{EN'}_{sky} + \overline{NF} - 1} \sim \frac{\Delta \overline{EN'}}{\overline{NF}} = \frac{1}{\overline{NF}} \frac{\Delta T_a}{T_a} \quad (8)$$

但し  $\overline{NF}$  = 受信機全体の雑音指数 (noise figure)

$$\Delta \overline{EN'} = \overline{EN'} - \overline{EN'}_{sky}, \quad \Delta T_a = T_a - T_{a sky}$$

$$\overline{EN'}_{sky} \approx 0.033, \quad T_{a sky} \approx 10^\circ \quad (\text{Norton})$$

例へば 16エレメントのビームアンテナを用ひれば

$G \approx 25$  となり、200MCでは第2図より  $\overline{EN'}_{min} \approx 0.3$  であるから

$$\overline{NF} \approx 10 \text{ として } \left( \frac{S}{N} \right)_{min} \approx \frac{0.3}{10} = 3\% \text{ になる。}$$

又例へば 波長8cmで直径2.5mの拋物面アンテナを用ひるとすれば、能率50%で  $G \approx 2 \times 10^3$  になり、従つて  $\overline{NF} \approx 50$  とすれば、第2図より  $\overline{EN'}_{min} \approx 2$  であるから、 $(S/N)_{min} \approx 4\%$  になる。

#### 5 在來の受信方式による可能性

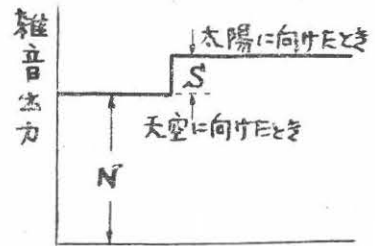
上述の如く、波長8cmに於ては直径2.5mの拋物面アンテナ及び  $\overline{NF} \approx 50$  の受信機を以てしても、天空に向けたときと太陽に向けたときの受信機出力差は僅か4%に過ぎず、受信機の電源電圧、温度及び機械的部分の安定度を考慮に入れると、此の差は受信機自身の雑音変動に mask されて測定は先づ不可能に近いものと思はれる。

尙 200MC 帯に於ては burst 及び outburst が未だ顯著に現はれるが、極波帯ではその回数も少く強度も高々数倍にしかならないことが略々明かになつてゐる。

#### 6 導波管変調法

以上述べた様な理由で、太陽雑音測定に関し我々の檢べた範囲では、極波以下に於ては何れも表題の様な特殊な方法で受信してゐて、之を用ひなければ一應受信することすら不可能に近いことがわかつた。此の方法は Dicke<sup>(9)</sup> により発案されたものであるが、その概要を敷衍して紹介する。

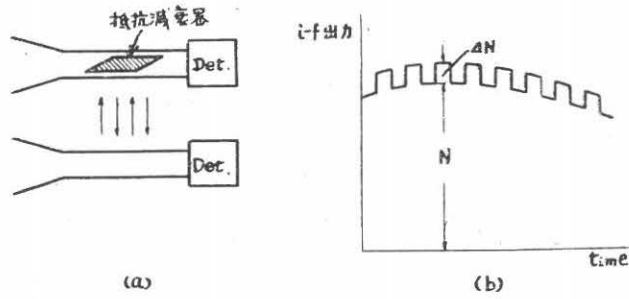
4節に於ては天空の雑音を標準と考へたが、今度は抵抗体の熱雑音を標準にする。此の標準雑音と信号雑音とを相当早い速度で切換へて比較し、その差に比例した出力を取出さうと云ふのが



此の方式の根本原理である。

即ち第4図(a)の様な切換を行ふと、受信機のi-f雑音出力は同図(b)の様になりその切換周期を起り得べき受信機雑音変動の周期に比し小さくすれば、それ等の変動をさけることが出来るから微弱な信号迄読み取ることが出来る。

第4図



第4図bに於て

$$\left. \begin{aligned} \frac{\Delta N}{N} &= \frac{\overline{EN^2} - 1}{\overline{NF}} = \frac{1}{\overline{NF}} \frac{\Delta T_a}{T_0} \\ N &= \overline{NF} G_r k T_0 B \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

ここに

$\overline{NF}$  = 受信機の雑音指数

$G_r$  = 受信機 i-f 出力迄の有能利得 (available gain)

$T_0$  = 抵抗体の温度 (300°kとする)

$kT_0 \approx 4 \times 10^{-21}$  joule

$\Delta T_a = T_a - T_0$

$B$  = 受信機の等価帯域巾 (cycle/sec)

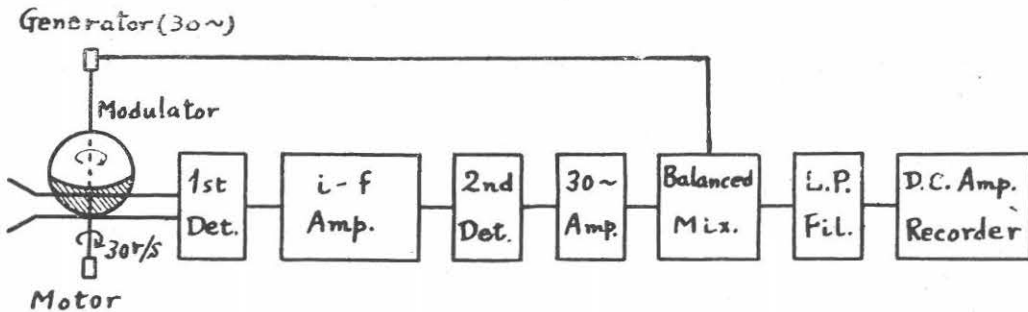
従つて

$$\Delta N = (\overline{EN^2} - 1) G_r k T_0 B = \Delta T_a G_r k B \quad (11)$$

(11)式より明かなる如く、 $\Delta N$ の変動は $G_r$ の変動に比例するに止り、又 $\Delta N$ は受信機の雑音指数に無関係である。

Dickeにより示された実際の装置の系統図を第5図に示す。

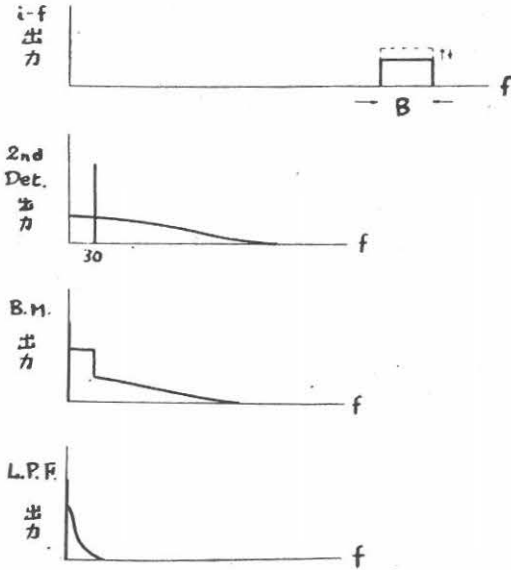
第5図



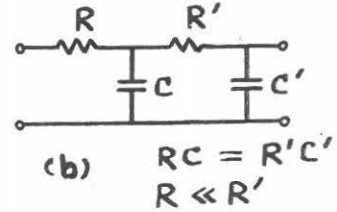
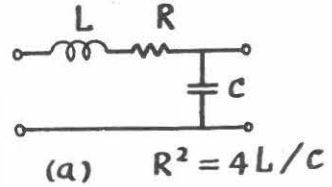
(11)式によれば、 $G_r, B$ を大にするか、或はi-f以後の低周波の利得を大にすれば、 $\Delta T_a$ の値は原理上いくらでも小に出来るわけであるが、此の場合にも雑音の点から次の様な制約を受ける。

第5図に於ける各部の出力は第6図に示す様な電力分布をしてゐて、低域濾波器の時定数をあまり大きくすると短時間の変化が検出出来ない所から出力計には或低周波の雑音出力が入り、指針をふらつかせる原因になる。従つて或程度以下の信号は検出出来ない。

第6図



第7図



今出力計に入る信号電力と雑音電力との比が1迄検出可能と仮定すれば、次の様な関係式が導かれる。

$$\left(\frac{\Delta T_a}{T_0}\right)_{\min} = \frac{\pi NF}{2} \frac{\left\{ \left[ \int_0^\infty |F(\omega)|^4 d\omega \right] \left[ \int_0^\infty |S(\omega)|^2 d\omega \right] \right\}^{1/2}}{S(0) \int_0^\infty |F(\omega)|^2 d\omega} \quad \left. \begin{array}{l} \text{(自乗検波)} \\ \text{(Di-cke)} \end{array} \right\} (12)$$

$$\left(\frac{\Delta T_a}{T_0}\right)_{\min} = \frac{\pi NF}{4} \quad \left. \begin{array}{l} \text{直線検波} \end{array} \right\}$$

ここに、 $F(\omega) = i-f$  の周波数特性  
 $S(\omega) =$  低域濾波器の周波数特性

$F(\omega)$ を矩形状と仮定し、又低域濾波器の特性を第7図(a)の様な critical damping の LC 濾波器或は同図(b)の様な二段RC濾波器のものと仮定すれば

$$S(\omega) = \frac{1}{\tau^2 \omega^2 + 1} \quad ; \quad \tau = \frac{2L}{R}, \text{ 或は } C'R'$$

従つて、

$$\int_0^\infty S^2(\omega) d\omega = \frac{\pi}{4\tau}, \quad S(0) = 1$$

であるから

$$\left(\frac{\Delta T_a}{T_0}\right)_{\min} = \frac{\pi NF}{2} \left. \begin{array}{l} \sqrt{\frac{\pi}{4\tau}} \frac{\sqrt{2\pi B}}{2\pi B} = \frac{\pi}{4\sqrt{2}} \frac{NF}{\sqrt{\tau B}} \text{ (自乗検波)} \\ = \frac{\pi}{8\sqrt{2}} \frac{NF}{\sqrt{\tau B}} \text{ (直線検波)} \end{array} \right\} (13)$$

(13)式より同じ時定数の濾波器を用ひても、 $\overline{NF}$ の小さい程又帯域巾の廣い程感度をよくすることができる。

次に記録計の入力をSとし

$$S = G_o \Delta N \tag{14}$$

とすれば (11) 式より、

$$S = \Delta T_a G_r G_o k B \tag{15}$$

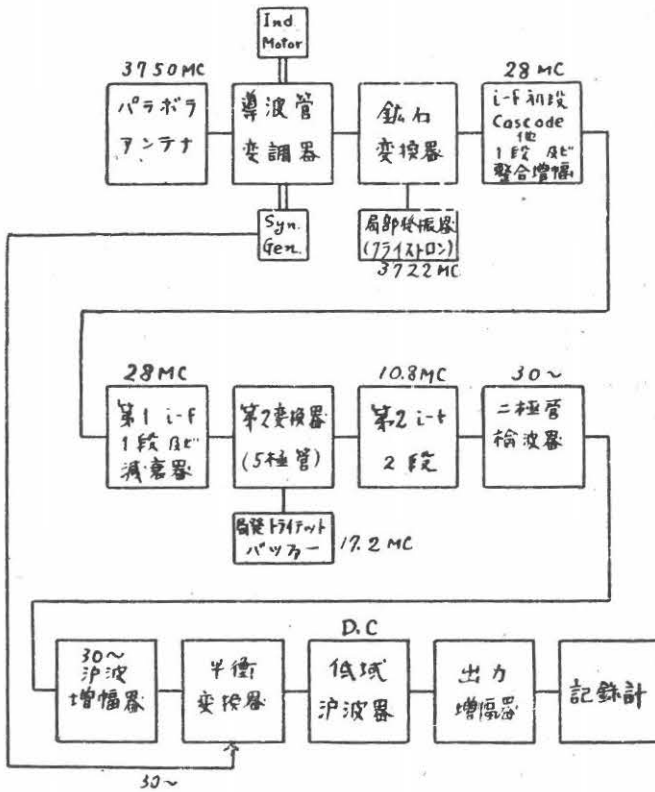
記録計より要求される最小出力を  $S_{min}$  とすれば、上式の  $\Delta T_a$  の値を (13) 式の  $\Delta T_{a min}$  に対応させる様に利得を調整すべきであり、それ以上の利得にしても指針の変動も共に大きくなるからあまり意味がない。此のときの利得は (13)、(15) 式より次の如く表はすことが出来る。

$$G_r G_o = \frac{S_{min} \sqrt{\tau/B}}{K k T_o NF}, \quad \left. \begin{aligned} K &= \frac{\pi}{8\sqrt{2}} \quad (\text{直線検波}) \\ K &= \frac{\pi}{4\sqrt{2}} \quad (\text{自乗検波}) \end{aligned} \right\} \tag{16}$$

### 7 受信機の帯域巾及び利得

(13)式より受信機の帯域巾は廣い程感度をよくなし得るわけであるが、之にも自ら制限がある。i-f の利得が 100db 以上要求されると double superheterodyne 方式にするのが安全であり、更に

第 8 図



利得と noise figure の点から 1st i-f を 30MC 程度にすると、2nd i-f は当然 10MC 附近になるから帯域巾は 1MC 程度に制限される。併し帯域巾 1MC,  $\tau=1$ 秒とし直線検波を行へば、 $\overline{NF}=100$  としても  $\Delta T a_{\min} \simeq 8.4^\circ$  となり、太陽雑音受信には概ね満足すべき値となる。

此のとき必要な利得は、(16)式に於て  $S_{\min} \simeq 10^{-1}$  ワットとすれば  $G_r G_o \simeq 150\text{db}$  である。 $G_o$  を 30db 程度にすれば  $G_r$  は約 120db となるので、検波器の平均雑音入力 が 0.1 ワット程度になり、直線検波の点から都合がよい。i-f の利得は高周波部の減衰を見越して最低 130db を必要とする。

## 8 設 計 の 概 要

全回路の系統図を第 8 図に示す。

## 9 結 言

今回は受信方式に主眼を置き細かい個々の問題には触れないことにした。之は今后仕事の進展につれて徐々に御報告致し度いと思つてゐる。特に高周波部は屋外で而も廻轉を伴はなければならぬ爲相当苛酷な條件に曝されるので測定器として安定に動作せしめる迄には可なりの困難が予想される。幸ひ各方面の御援助を得て出来る限り早く信頼出来る観測に移れる様になることを期待してゐる。 (昭和25年5月31日)

## 文 献

- (1) M. Ryle and D. D. Vonberg ; Proc. Roy. Soc. A., 193, p. 98, 1948.
- (2) G. Reber; Proc. I. R. E., 36, p. 88, 1948.
- (3) F. J. Lehany and D. E. Yabstey ; Nature, 161, p. 645, 1948
- (4) A. E. Covington ; Proc. I. R. E., 36, p. 454, 1948.
- (5) M. Scholkin, F. T. Haddock, K. M. Decker, C. H. Mayer and J. P. Hagen ; Phy. Rev., 74, p. 840, 1948.
- (6) R. H. Dicke and R. Beringer ; Ap. J., 103, p. 375, 1946.
- (7) I. L. Thomsen ; Nature, 161, p. 134, 1948.
- (8) J. W. Herbstreit ; "Advances in Electronics" by L. Marton, vol. 1, 1948.
- (9) R. H. Dicke, Rev. of Sci. Inst., vol. 17, No. 7, 1946.
- (10) 畑中, 鈴木, 守山 ; 科学, vol. 20, No. 1, 1950.